

Átila Augusto Stock Da-Rosa (Org.)

**VERTEBRADOS
FÓSSEIS DE
SANTA MARIA
E REGIÃO**

Capítulo 12

Icnofósseis de Vertebrados

Ismar de Souza Carvalho

Departamento de Geologia - IGEO - CCMN
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Paulo Roberto de Figueiredo Souto

Departamento de Ensino de Ciências e Biologia - IBRAG
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rafael Costa da Silva

Divisão de Paleontologia - Departamento de Geologia
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Serviço Geológico do Brasil

INTRODUÇÃO

Os icnofósseis compreendem o registro das atividades de animais e vegetais, que se preservaram nas rochas. Contam-nos de maneira direta como viviam, se alimentavam ou se locomoviam. Tratam-se de registros fósseis, que ficaram preservados como instantâneos da vida. No Rio Grande do Sul são encontrados vários icnofósseis de vertebrados e invertebrados. Dentre os pertencentes a vertebrados estão pistas, pegadas e fezes fossilizadas (coprólitos).

A importância dos icnofósseis de vertebrados está centrada na possibilidade de se avaliar, a partir deles, aspectos fisiológicos e comportamentais, como os modos e velocidades de locomoção dos indivíduos, a reprodução e a estrutura das comunidades. Os dados advindos das condições preservacionais, distribuição espacial e características morfológicas dos icnofósseis são os elementos que conduzem à interpretação dos cenários paleoambientais e paleogeográficos.

cos. Através dos icnofósseis de vertebrados podemos ter a evidência de animais que não foram preservados no registro fóssil, um melhor conhecimento da distribuição espacial e temporal dos vertebrados, bem como das propriedades físicas originais dos depósitos sedimentares (plasticidade, tenacidade, conteúdo d'água). Apresentam também um interesse especial para a paleoetologia, pois fornecem um registro dinâmico do animal produtor, e assim o conhecimento de seus modos de vida.

ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS

Muitos são os tipos de icnofósseis cuja origem se relaciona aos vertebrados: pegadas, pistas, escavações, coprólitos, enterólitos, urólitos, regurgitólitos, ovos, ninhos e tafóglifos. Os mais comuns são as pegadas e pistas, cuja análise possibilita a avaliação das dimensões dos animais produtores, formas de deslocamento, aspectos do comportamento "social" e dos grupos paleozoológicos.

Os coprólitos e enterólitos são elementos frequentes no registro icnológico, indicando hábitos alimentares e aspectos relacionados à cadeia trófica. O hábito alimentar de alguns animais é ainda possível de ser avaliado através de marcas de mordida preservadas nos ossos. Em animais terrestres, Buffetaut *et al.* (2004) descreveram a marca de uma mordida, juntamente com o fragmento de dente de um dinossauro espinoossaurídeo, na vértebra de um pterossauro da Bacia do Araripe. Anteriormente postulava-se que tais dinossauros eram piscívoros. A partir desta descoberta houve o reconhecimento de um hábito de predação ou de necrofagia, ampliando a variedade de sua dieta. Outros exemplos de interação trófica, no caso predação, registrados através de marcas de mordida em ossos de dinossauros e nos de mamíferos são apresentados por Molnar (1993).

Os ovos não são considerados por alguns autores como icnofósseis, por representarem parte do próprio indivíduo. Entretanto, são elementos que refletem a atividade fisiológica, relacionados à reprodução, e podem assim serem classificados como icnofósseis.

No caso específico das pegadas fósseis, a identificação dos produtores possibilita a correlação estratigráfica e o próprio estabelecimento de biozonas. Quando mostram-se abundantemente distribuídas em uma região, compreendem os chamados *megatracksites*, como o da Bacia de São Luís (Carvalho, 2001; Carvalho & Pedrão, 1998). O domínio de grandes pegadas de terópodes é identificado nas áreas ao sul da bacia. Em direção ao norte, há pistas e pegadas de terópodes de pequeno tamanho. Existiu provavelmente uma segregação ecológica dos grandes e pequenos terópodes. O contexto geológico – uma planície costeira de baixo gradiente – provavelmente permitiu o estabelecimento de comunidades dinossaurianas específicas. Os estudos de Ellenberger (1970), Leonardi (1977), Leonardi & Oliveira (1990), Moratalla *et al.* (1997), Carrano & Wilson (2001) apresentam outros bons exemplos, nos quais demonstram as aplicações da icnologia de vertebrados na sedimentologia e estratigrafia.

MECANISMOS DE PRESERVAÇÃO DOS ICNOFÓSSEIS

A maneira como os icnofósseis podem ser preservados tem relação direta com o contexto geológico em que se inserem. Diferentes mecanismos podem conduzir à preservação dos icnofósseis de vertebrados. Entretanto, deve haver condições propícias a uma consolidação dos sedimentos que os contém, para possibilitar a permanência da “disruptura” (como no caso de pegadas) nos estratos sedimentares. Superfícies úmidas de sedimentos de granulometria fina expostos ao ressecamento facilitam a preservação. Porém, outros fatores relevantes para a preservação são a composição e textura do substrato, as flutuações do nível hidrostático, o ressecamento superficial, deflação, bioturbação por invertebrados e o revolvimento secundário por outros vertebrados.

No caso de coprólitos e ovos fósseis, o processo dominante é o da permineralização, no qual os espaços vazios são preenchidos por substâncias minerais, e há a substituição da matéria orgânica original.

PISTAS E PEGADAS FÓSSEIS

As pegadas fósseis têm quase sempre um interesse especial, pois possibilitam o registro dinâmico dos animais e de seus modos de vida. Como são uma evidência autóctone da atividade animal, fornecem dados importantes da ecologia das populações e das comunidades (Sarjeant, 1975; Lockley, 1991; Lockley & Gillette, 1991). Traduzem assim aspectos etológicos, tais como os comportamentos sociais, modos de deslocamento e preferências ambientais. São o registro icnológico mais comum de vertebrados, pois durante a vida de um animal este pode produzir milhares de pegadas. Assim, a despeito das dificuldades que podem estar envolvidas nos processos de preservação, a quantidade de icnitos produzidos durante a vida de um único animal potencializa seu documentário nos estratos rochosos (Carvalho, 1989; Carvalho, 2004).

As pegadas, icnofósseis de vertebrados bastante comuns, são preservadas com maior frequência em ambientes que estão submetidos a acumulações cíclicas ou periódicas de sedimentos. Entretanto, as pegadas quando formadas, têm claramente um baixo potencial de preservação, pois como impressões superficiais em sedimentos inconsolidados, são rapidamente erodidas e destruídas pelo depósito da camada sedimentar subsequente. Por outro lado, se expostas por um longo período, são obliteradas pelos processos subaéreos (vento, ressecamento e chuva). Face a tais problemas, somente em circunstâncias especiais é que são preservadas, e há ambientes sedimentares preferenciais, onde as condições são mais adequadas que outros. Assim, o registro de pegadas é mais frequente em ambientes continentais, principalmente nas margens de lagos, planícies de inundação e em desertos (Tucker & Burchette, 1977; Cohen *et al.*, 1991). Segundo Thulborn (1990) a formação e posterior preservação estão condicionadas pela seguinte sucessão de eventos (Fig. 1):

- influxo e deposição de sedimentos;
- suspensão ou não-deposição de novos sedimentos;
- os recém depositados materiais são percorridos pelos animais;

- as pegadas sofrem uma consolidação inicial;
- há novo influxo e deposição de sedimentos, soterrando as pegadas e reiniciando um novo ciclo .

Para a preservação bem sucedida dos organismos como fósseis é necessário um rápido soterramento para evitar a decomposição da matéria orgânica. No caso dos icnofósseis de vertebrados, a maneira como ocorre o soterramento é tão importante quanto a taxa de sedimentação. Uma escavação ou pegada, impressa num sedimento argiloso extremamente úmido, necessita de algum tempo de exposição subáerea para um endurecimento suficiente que possibilite resistir a um novo aporte de água e sedimento, com seu subsequente soterramento. Outros fatores que afetam a preservação relacionam-se com a consistência, tenacidade, textura e homogeneidade dos sedimentos que compõem o substrato. A saturação ou não em água destes sedimentos é também um fator importante nos aspectos preservacionais, influenciando na conservação de detalhes morfológicos, tais como unhas, garras e detalhes da pele (Thulborn, 1990).

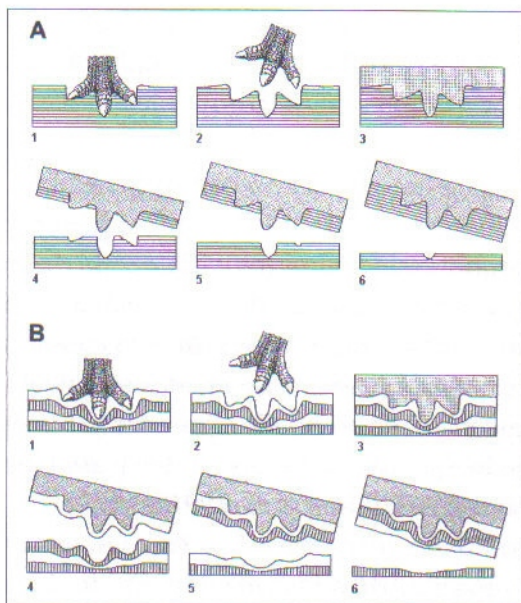


Figura 1 - Eventos que propiciam a preservação de pegadas (modificado de Thulborn, 1990).

ESCAVAÇÕES

Os vertebrados realizam escavações no substrato com diferentes finalidades: reprodução, escape de predadores, habitação, busca por alimentos e proteção contra as adversidades do meio-ambiente. As estruturas originadas podem apresentar formas e dimensões bastante variáveis, e podem ser produzidas por peixes, anfíbios, répteis e aves.

URÓLITOS

O termo urólito (urina petrificada) foi utilizado inicialmente por Duvernoy (1844) na França, para diferenciar excreção não líquida produzida por lagartos a fim de diferenciar do termo coprólito. Ainda, resíduos produzidos no sedimento do Triássico na Alemanha por ictiossauros foram classificadas como urólitos (Leydig, 1896a,b), onde também foram encontrados resíduos atribuídos a répteis do Cretáceo Superior (Voigt, 1960). Entretanto, somente no início desse século foram registradas como urólitos algumas impressões relacionadas à extrusão de material líquido preservado no sedimento relacionadas a dinossauros, nos Estados Unidos na Formação Morrison (McCarville & Bishop, 2002) e no Brasil na Formação Botucatu no Estado de São Paulo (Fernandes *et al.*, 2004).

COPRÓLITOS

Na Paleontologia os coprólitos estão reunidos na categoria de icnofósseis. Entretanto, pelo fato de serem estruturas tridimensionais, são entidades capazes de reunir outros fósseis ou mesmo outros icnofósseis (Souto, 2003). Estruturas com esta condição estão agrupadas na categoria de bromatólitos, estruturas associadas à atividade alimentar também preservadas em estado petrificado, que são os regurgitólitos (cavidade oral) e os enterólitos (cavidade intestinal) (Hunt *et al.*, 1994).

Os coprólitos (do grego, *Kopro*: fezes; *lithos*: pedra) são excrementos fossilizados, no estado mumificado ou petrificado, produzidos

em consequência da atividade heterótrofa de animais invertebrados ou vertebrados, e são encontrados no registro geológico desde o início do Fanerozóico (Gilmore, 1992; Öpik, 1953).

No território brasileiro, atualmente, as principais ocorrências de coprólitos estão na Formação Itapecuru/MA na Bacia de São Luís, Formação Santana/CE na Bacia do Araripe, nas formações Corumbataí/SP, Santa Maria/RS, Marília/MG, Adamantina/SP na Bacia do Paraná, Formação Itaboraí/RJ na Bacia de São José de Itaboraí e Formação Tremembé/SP na Bacia de Taubaté, além de outras ocorrências como na Formação Brejo Santo/CE na Bacia do Araripe, Formação Maceió/AL na Bacia de Alagoas e Formação São Sebastião/BA na Bacia do Tucano Norte (Castro *et al.*, 1988; Bertini *et al.*, 1992; Ragonha, 1987; Souto, 1997, 2001, 2002a, 2002b, 2005; Souto *et al.*, 2002).

Muitos fatores influenciam no processo de preservação do material fecal, desde condições climáticas até níveis de produtividade. Os excrementos são na verdade uma rica fonte de nutrientes, sendo rapidamente degradados por atividade bacteriana, fúngica e insetívora (Putman, 1983). Em termos diagenéticos, dependendo da sua plasticidade eles podem sofrer permineralização ou compressão (Häntzschel *et al.*, 1968). Outro aspecto que contribui na preservação é a composição da dieta. Bradley (1946) sugere que o fosfato de cálcio presente nas fezes de carnívoros atua como um agente de permineralização, que potencializa o processo de endurecimento da estrutura. Entretanto, alguns coprólitos de herbívoros também podem apresentar uma solidificação favorável à preservação, devido ao tipo de parte da planta ingerida (Rodríguez de la Rosa, 1998; Chin, 1990).

Estudos sobre fezes de bovinos mostram que a deterioração do excremento varia conforme as diferenças de áreas e de estações (Putman, 1983). Entre os organismos coprófagos que atuam como maiores agentes decompositores estão as bactérias, fungos, larvas de insetos e vermes (White, 1960). Pesquisas de cunho ecológico constataam que durante períodos úmidos, besouros escarabeídeos emergem do solo e aglomeram-se ao redor de excrementos frescos, removendo-os para o interior do solo; nos períodos secos essa atividade é mais reduzida (Putnam, 1983).

O fato dos excrementos de um mesmo animal variar na sua estrutura está relacionado ao hábito alimentar e à condição ambiental, aspectos que dificultam a utilização de um nome binomial como propõe o código Linneano. Entretanto, é possível classificar os coprólitos, utilizando um sistema baseado na morfologia e nas estruturas secundárias (adornos) tais como: ranhuras (transversais ou longitudinais) e dobras (espiraladas ou impactantes), que auxiliam tanto no entendimento sobre o processo de produção como na identificação biológica (Thulborn, 1991; Williams, 1972).

O trabalho de investigação da composição química da estrutura interna é realizado através de procedimentos radiológicos de difração de raios-X (Sawyer, 1981; Castro *et al.*, 1988), fluorescência de raios-X (Edwards, 1973; Amstutz, 1958) e infravermelhos (Hallgren, 1987). Estes métodos de caráter quantitativo e qualitativo permitem analisar, com precisão elevada, amostras sólidas ou líquidas em curto espaço de tempo, em grande número e sem necessidade de recalibrar o aparelho para diferentes amostras. Mais recentemente, procedimentos cromatográficos para análise de moléculas orgânicas (aminoácidos e proteínas) e microinclusões preservadas na estrutura interna dos coprólitos têm sido utilizadas (Weber & Lawler, 1978; Hollocher *et al.*, 2001).

A realização de tratamentos químicos e de cortes de lâmina delgada são importantes na investigação de restos orgânicos inclusos, além de auxiliar na análise do processo de fossilização da matriz coprolítica (Rodriguez de la Rosa, 1998). As associações da morfologia do excremento com as inclusões existentes no interior do coprólito auxiliam na interpretação sobre a dieta e o comportamento do produtor.

O estudo dos coprólitos fornece informações para diferentes áreas de pesquisa. Na bioestratigrafia, os coprólitos ou especificamente um nível farto em coprólitos permite a correlação dos estratos onde estão inseridos. Exemplos característicos dessa condição são os horizontes de coprólitos existentes no Pensilvaniano da Formação Weber no Colorado (EUA) e do Triássico Médio (Ladiniano) da Formação Santa Maria no Rio Grande do Sul (Brasil).

Na paleoecologia, os coprólitos têm possibilitado inúmeras aplicações, servindo de indicadores sobre o grau de atividade heterótrofa, na caracterização de ambientes deposicionais, na reconstituição dos níveis tróficos de alimentação e no estudo sobre o comportamento do produtor, informando a respeito da sociabilidade e distribuição territorial. Os microcoprólitos (invertebrados), quando concentrados em grandes quantidades, servem como indicadores da atividade dessas comunidades no tempo e espaço.

É importante também citar a importância econômica do guano, excremento liquefeito produzido por colônias de aves marinhas ou morcegos, ao longo de milhares de anos e depositados em regiões costeiras, ilhas oceânicas e cavernas, como os existentes em cavernas no sudeste do México. Esses resíduos insolúveis de fosfato de cálcio constituem atualmente grandes depósitos de fosfato, que são explorados industrialmente (Harris, 1985; Hutchinson, 1950).

GASTRÓLITOS E REGURGITÓLITOS

A identificação dos resíduos gástricos torna-se geralmente difícil, à medida em que o processo de digestão aumenta. O conteúdo estomacal, formado por ossos fragmentados, escamas, valvas de moluscos, ostracodes, pode ser preservado quando o animal morre após pouco tempo do início da digestão. Em alguns casos estão associadas pedras gástricas (gastrólitos), as quais ajudam na trituração dos alimentos. Outros tipos de resíduos gástricos são os regurgitados, que se originam a partir da regurgitação da parte não digerida dos alimentos através da boca. A fossilização destes materiais resulta nos regurgitólitos (Bishop, 1975).

OVOS, FÓSSEIS E NINHOS

Tanto ovos inteiros, como apenas fragmentos de cascas são úteis na paleobiologia, pois possibilitam a análise da dinâmica do crescimento e das estratégias de vida (Ricqlès *et al.*, 2001). Os ovos são estruturas reprodutivas e aqueles encontrados como fósseis

pertencem a répteis e aves. A proteção externa enrijecida (casca) que envolve o material celular é a que geralmente se preserva, ocorrendo em algumas situações a existência de embriões, como os de saurópodes do Cretáceo Superior da Patagônia (Argentina) descritos por Chiappe *et al.* (1998). Nos ovos descritos por estes autores, além dos pequenos ossos em seu interior estão presentes porções da pele dos embriões.

As estruturas de nidificação - ninhos - podem ser produzidas por peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. São reconhecidas através do arranjo organizado dos ovos ou por meio de estruturas construídas para a ovipostura.

Há vários exemplos no documentário paleontológico, tais como os ninhos de saurópodes titanossauros da Formação Anacleto (Cretáceo Superior, Argentina), em que há um arranjo dos ovos em cavidades que truncam as estruturas sedimentares. O material que preenche estas cavidades difere daquele do substrato. Assim, os titanossauros botavam seus ovos em cavidades escavadas no substrato, ao invés de simplesmente os recobrirem com sedimentos (Chiappe *et al.*, 2004).

No Brasil há ovos de dinossauros na Formação Marília (Cretáceo Superior, Bacia Bauru), os quais foram descritos por Price (1951) e Magalhães Ribeiro (2000, 2001). Ovos de outros grupos como quelônios, crocodilos e aves também já foram identificados.

OS ICNOFÓSSEIS DE VERTEBRADOS DO RIO GRANDE DO SUL

Pegadas e Pistas

Os vertebrados fósseis são conhecidos no Rio Grande do Sul há mais de um século. São centenas de esqueletos de diversas espécies de animais que viveram na região há milhões de anos. Apesar disso, icnofósseis desses animais eram praticamente desconhecidos até pouco tempo. Apenas na última década é que foram descobertos em rochas de três formações geológicas diferentes do período Triássico, e outra do Jurássico (Fig. 2).

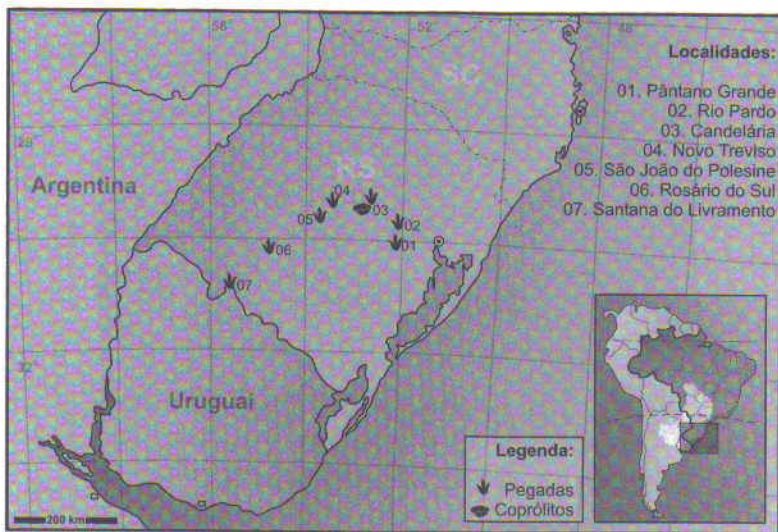


Figura 2 - Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, com a distribuição das principais ocorrências de icnofósseis de vertebrados (pegadas e coprólitos).

As pegadas de Pântano Grande e Rio Pardo

São as mais antigas e foram encontradas apenas duas pegadas isoladas, produzidas por dois animais distintos, na rodovia entre as cidades de Pântano Grande e Rio Pardo em rochas da Formação Sanga do Cabral (Costa, Schwanke & Carvalho, 2003; Silva, Schwanke & Carvalho, 2005). A primeira delas, embora incompleta, tem dedos longos, com marcas de garras curvas e uma planta (ou "sola") de forma oval (Fig. 3A). Tanto nos dedos quanto na planta é possível ver as impressões das pequenas almofadas presentes no pé do animal que as produziu. Essa pegada mostra um padrão que é muito comum em répteis: um aumento no comprimento dos dedos I ao IV (equivalentes aos nossos dedos polegar e anular) e um dedo V (equivalente ao nosso dedo mínimo) menor e separado dos outros. É quase como se fosse a nossa própria mão ao contrário. Podemos ver esse padrão em lagartos vivos e também em várias espécies extintas de répteis.

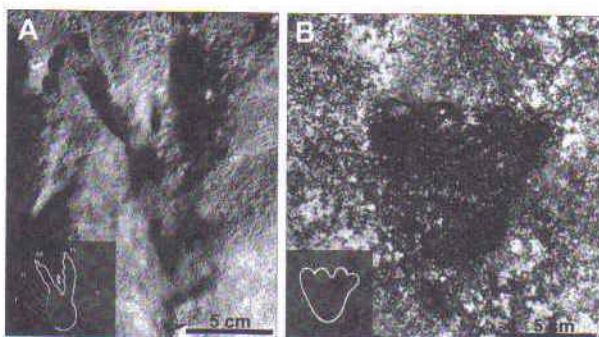


Figura 3 - Pegadas fósseis de Pântano Grande e Rio Pardo, Formação Sanga do Cabral; (A) Pegada de arcossauro (B) Pegada de dicinodonte.

Mas seria possível saber quem fez essas pegadas? No estudo de pegadas fósseis, raramente podemos saber qual espécie em particular as produziu, pelo simples fato de que não conhecemos todas as espécies que existiram no passado. Mas quase sempre podemos ter uma boa idéia sobre o tipo de animal que deixou as pegadas. Nesse caso, os únicos animais existentes naquele período que tinham um pé com o formato e tamanho condizente eram arcossauros (um grupo bastante grande; vide Cap. 7) da família dos proterosuíquios ou dos ornitosuíquios (ambos são grupos extintos, conhecidos através de esqueletos fossilizados).

Do mesmo modo, o outro tipo de pegada da Formação Sanga do Cabral pode ser identificado até com mais segurança. Essa pegada tem dedos muito curtos e largos e uma planta grande, longa e arredondada (Fig. 3B). Pegadas assim são conhecidas também na África do Sul e na América do Norte, e conferem em tamanho e forma com os pés e mãos dos dicinodontes, animais herbívoros extintos que têm um parentesco com os mamíferos (ver Cap. 8). Esqueletos fossilizados de diversas espécies de dicinodontes são conhecidos no Rio Grande do Sul. As rochas da Formação Sanga do Cabral foram formadas em um antigo ambiente fluvial, com pouca vegetação, sendo as pegadas preservadas nas margens ou em barras arenosas do rio (Fig. 4). Obviamente este rio não existe mais, mas

as estruturas deixadas nas variadas camadas de areia trazida pela antiga correnteza ainda persistem.



Figura 4 - Reconstituição dos animais produtores das pegadas de Pântano Grande e Rio Pardo (desenho por Ariel Milani Martine).

As pegadas de Candelária

Nas rochas da Formação Santa Maria, também do período Triássico, mas depositadas posteriormente à Formação Sanga do Cabral, há uma ocorrência de pegadas fósseis. Essa formação aflora principalmente nas cercanias da cidade homônima e é mundialmente conhecida pela grande quantidade e boa qualidade dos esqueletos fósseis de vertebrados, incluindo os dicinodontes, diversos arcossauros e até alguns dos dinossauros mais antigos do mundo. Além de esqueletos, há também fezes fossilizadas, ou coprólitos, de vários animais herbívoros e carnívoros (Souto, 2001). Um desses coprólitos foi pisoteado enquanto ainda estava fresco, ficando então marcado por duas pegadas (Fig. 5). Essas são pequenas quando comparadas com o coprólito, portanto o animal que pisou nas fezes não foi o mesmo que as produziu. Embora as pegadas sejam pouco nítidas, elas têm dedos curtos e uma planta arredondada, lembrando pegadas feitas por cinodontes ou talvez dicinodontes (esses dois grupos têm representantes fossilizados na Formação Santa Maria).

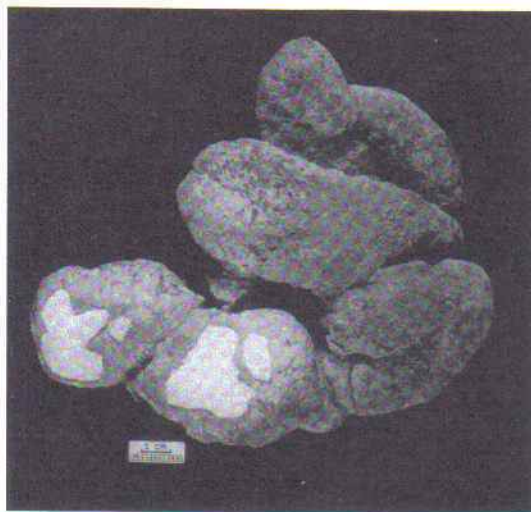


Figura 5 - Pegada no Coprólito MCT 1513-R com preenchimento (cor branca) das cavidades plantares.

As pegadas de São João do Polêsine

A Formação Santa Maria foi depositada em uma época posterior à Formação Sanga do Cabral. Nela há diferentes tipos de pegadas fósseis, encontrados em um afloramento localizado na tradicional região da Quarta Colônia no recém criado município de São João do Polêsine (Silva *et al.*, 2005; 2007b; 2008a; 2008b; 2008c). Neste conjunto prevalecem pegadas muito bem preservadas de vertebrados muito pequenos, algo não tão comum no registro fossilífero. As pegadas mais abundantes são parecidas com mãos e pés de pequenos lagartos, com o mesmo padrão de comprimento e espaçamento dos dedos, que por sua vez são muito finos e longos em relação às dimensões das pegadas (Figs. 6A e 6B). É possível ver as marcas das garras nas pontas dos dedos e até algumas impressões de escamas do animal que as produziu. As pistas constituídas por essas pegadas mostram ainda uma marca do arraste da cauda do animal, além de uma característica curiosa e única: os pés são virados (ou melhor, rotacionados) para trás. Os animais produtores mais prováveis seriam os esfenodontídeos, grupo quase totalmente extinto, com apenas um gênero vivente, mas que foi muito mais abundante no passado (vide Cap. 6). Os

esfenodontídeos são muito parecidos com os lagartos e mais antigos que eles, que sequer existiam durante o Triássico, daí a semelhança nas pegadas. Não por coincidência, esqueletos fossilizados desses mesmos animais já foram encontrados nas rochas da Formação Caturrita, que é posterior à Formação Santa Maria. Há outras pegadas não tão abundantes que lembram vagamente mãos de camundongos na forma e tamanho (Fig. 6C). As pegadas das mãos e pés são praticamente iguais, com dedos curtos e sem garras, sola em forma de meia-lua e uma marca irregular de arraste da cauda. Também é possível ver impressões das almofadas dos dedos e da sola, semelhantes às dos pés dos cachorros. O animal produtor caminhava com braços e pernas mais abaixo do corpo, como os mamíferos, e não ao lado do corpo como os répteis. Nesse tempo ainda não existiam mamíferos, mas há outro grupo de vertebrados que se enquadra perfeitamente nessa descrição: os cinodontes, vertebrados extintos que são considerados ancestrais dos mamíferos (veja Cap. 9). Esqueletos desses animais também ocorrem nessa formação, mas cinodontes com esse porte diminuto são mais conhecidos em rochas da Formação Caturrita. De fato, ambos os tipos de pegadas correspondem a novos tipos de pegadas nunca antes descritos pela ciência e, por esse motivo, receberam novos nomes científicos: *Rhynchosauroides retroversipes* (esfenodonte) e *Dicynodontipus protherioides* (cinodonte).

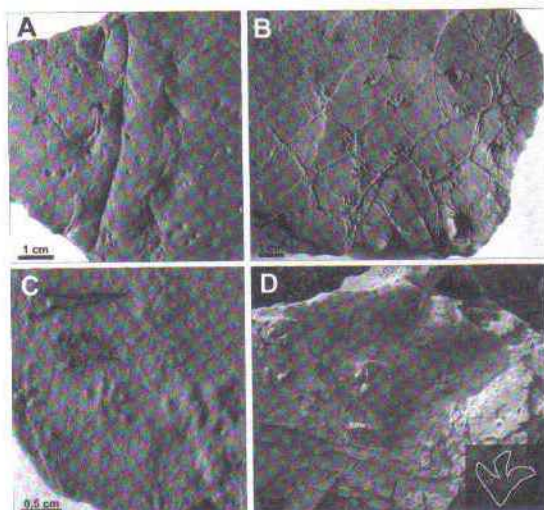


Figura 6 - Pegadas fósseis de São João do Polêsine; (A-B) Pegadas de esfenodontídeos; (C) Pegadas de cinodontes; (D) Pegada de dinossauro terópode.

Um outro tipo de animal de maiores dimensões fazia parte dessa antiga fauna e também deixou suas pegadas registradas nas rochas: os dinossauros. São poucas pegadas encontradas até o momento, mas sua forma é inconfundível. Lembram pés de aves, com três dedos sustentando o peso do corpo (sendo o dedo central maior), garras afiadas e ângulos agudos entre os dedos (Fig. 6D). Essas são características de pegadas de dinossauros, possivelmente terópodes, os mais famosos, visto que todos os dinossauros carnívoros fazem parte desse grupo. Os dinossauros mais antigos datam do final do Triássico (vide Cap. 11), aproximadamente o período de deposição do topo da Formação Santa Maria, e até mesmo já foram encontrados ossos desses animais nessas rochas, então não é de admirar que suas pegadas tenham sido encontradas. Esses são os passos de alguns dos dinossauros mais antigos do mundo. Essas pegadas foram deixadas em planícies alagadas ("várzeas"), formadas às margens de rios e córregos lamacentos (Fig. 7).



Figura 7 - Reconstituição dos animais produtores das pegadas de São João do Polésine (desenho por Renata Cunha).

As pegadas de Novo Treviso

Pegadas de dinossauros também foram encontradas na localidade de Novo Treviso, Município de Faxinal do Soturno, ao lado da sede paroquial (Costa, Carvalho & Schwanke, 2003; Silva, Carvalho & Schwanke, 2007a). São depressões grandes e irregulares que seriam facilmente confundidas com buracos das ruas, não fosse a presença de deformações na camada rochosa, indicativas de que algo pesado passou por ali na época da sua deposição. A maioria das pegadas está espalhada de maneira quase aleatória na grande superfície exposta, mas algumas das pegadas parecem estar em seqüência, à semelhança de uma pista (Figs. 8A e 8B). Inicialmente, esta ocorrência foi associada às rochas da Formação Caturrita e as pegadas atribuídas a dinossauros de maior porte como os prossaurópodes (dinossauros herbívoros ancestrais dos saurópodes de pescoço e cauda longa, Fig. 9). No entanto, estudos recentes sugerem que estas rochas correspondem à Formação Guará, de idade Jurássico-Cretáceo (Zerfass, 2007), e assim esta ocorrência ainda deverá ser revisada e novas conclusões poderão surgir.

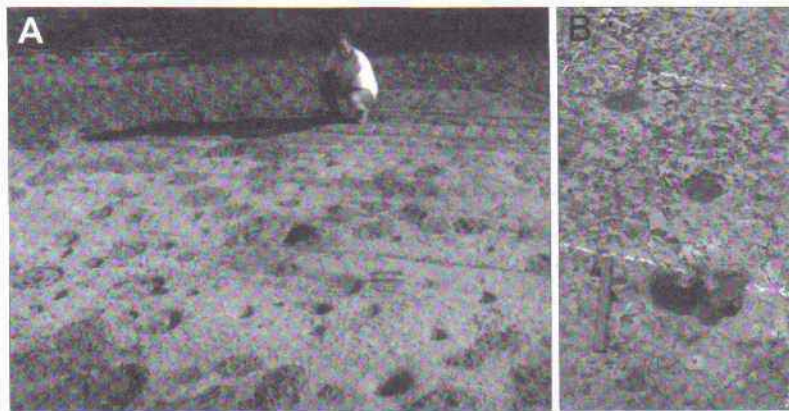


Figura 8 - Pegadas fósseis de Novo Treviso; (A) Vista geral; (B) Pista atribuída a prossaurópodes.



Figura 9 - Reconstituição dos prováveis animais produtores das pegadas de Novo Treviso (desenho por Ariel Milani Martine).

As pegadas de Santana do Livramento e Rosário do Sul

Já no período Jurássico, os dinossauros eram elementos faunísticos abundantes e dominantes. Prova disso é a presença das pegadas de três diferentes grupos de dinossauros nas rochas da Formação Guará, nos municípios de Santana do Livramento e Rosário do Sul (Scherer *et al.*, 2001; Schultz *et al.*, 2003; Dentzien-Dias *et al.*, 2005; Dias & Schultz, 2005). Há pegadas e pistas de grandes dinossauros terópodes (os famosos carnívoros), ornitópodes (popularmente conhecidos como bicos-de-pato) e saurópodes (com cauda e pescoço longos, corpo muito volumoso e cérebro pequeno). Algumas dessas pegadas podem ser vistas cortadas ao meio, em um barranco na beira da estrada, onde é possível observar o quanto o pé do animal afundou no sedimento mole

e toda a deformação causada nas camadas logo abaixo pelo enorme peso do antigo transeunte.

Os Coprólitos de Candelária

O primeiro registro de coprólitos nos sedimentos da Formação Santa Maria na região de Chiniquá foi publicado em 1928 (Huene, 1990). Na década de quarenta, ainda no século passado, novas ocorrências foram assinaladas por Price (1942, 1945 e 1949) na região de Candelária e os materiais depositados na coleção paleontológica do Departamento Nacional de Produção Mineral na cidade do Rio de Janeiro. Somente na década de 1990 foi desenvolvido, pela primeira vez, um estudo detalhado sobre os coprólitos da Formação Santa Maria (Souto, 1998).

Os coprólitos estudados foram coletados em sedimentos pertencentes ao Membro Alemoa na região de Pinheiros, da Formação Santa Maria, que é formado de folhelhos maciços vermelhos, apresentando lenticularidade restrita por intercalações arenosas, constituída de ciclos grano-decrescentes espessos, com brusca passagem dos arenitos para pelitos maciços e homogêneos. Os arenitos variam desde muito grossos, conglomeráticos, até finos e com estratificações cruzadas de tamanho médio, acanaladas ou planares, laminações plano-paralelas e marcas onduladas.

Quanto à natureza do conteúdo fossilífero, os jazigos de Pinheiros são, possivelmente, os mais ricos e expressivos de todas as ocorrências da Formação Santa Maria, apresentando restos de tetrápodes da base ao topo dos afloramentos (Barberena, 1977).

Os coprólitos apresentam caráter autóctone em virtude do bom estado de conservação que apresentam a maioria dos exemplares coletados. Morfológicamente são classificados em ovóides e cilíndricos, ocorrendo em unidades isoladas ou aglomeradas e apresentando diferentes tamanhos (Fig. 10). A presença dos coprólitos ovóides é muito maior em relação aos coprólitos cilíndricos, sendo que os maiores exemplares chegam até doze centímetros de comprimento. Quanto à terminação, independente da forma tanto os tipos isopolares (extremidades iguais) como anisopolares (extremidades diferentes) estão presentes.

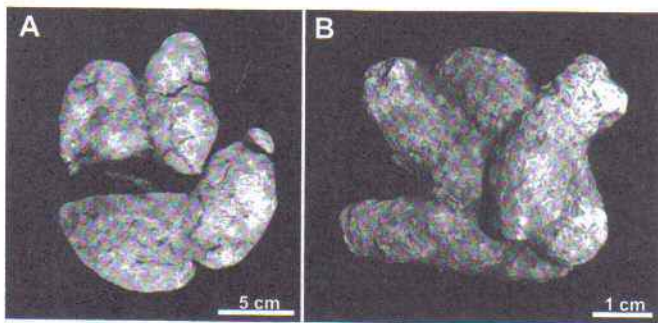


Figura 10 - Coprólitos de Candelária; (A) Exemplar MCT 1516-R; (B) Exemplar MCT 1530-R.

Alguns exemplares apresentam estruturas delgadas nas extremidades bem preservadas, uma característica da consistência plástica que o excremento apresentava no momento em que foi produzido. No caso de excrementos relacionados a animais de terra firme, isto é um referencial importante no diagnóstico sobre o posicionamento da massa fecal após sua extrusão (Fig. 11).



Figura 11 - Coprólito MCT 1516-R, apresentando terminação em pino (seta superior) e cavidade de compactação (seta inferior).

A notória existência de muitos coprólitos dispostos em massas aglomeradas é um aspecto que chama atenção, pois indica o volume evacuado de bolo fecal em uma única extrusão, representando um

aporte seqüencial. Outro aspecto importante é que através da medição desses aglomerados é possível estimar o comprimento da porção terminal do tubo intestinal (colo e reto) do indivíduo, quer seja jovem ou adulto. No caso dos adultos pode ter sido de aproximadamente quarenta centímetros de extensão.

Entre as marcas superficiais observadas estão as produzidas por atividade coprófaga, que evidenciam canais de escavações e pontos de perfurações (Fig. 12), e as ranhuras longitudinais, caracterizadas por linhas paralelas produzidas pelo esfíncter anal. Concavidades produzidas pelo mecanismo de impactação da massa fecal ao ser compactada e extrudada são preservadas (Figs. 11, 13a e 13b).

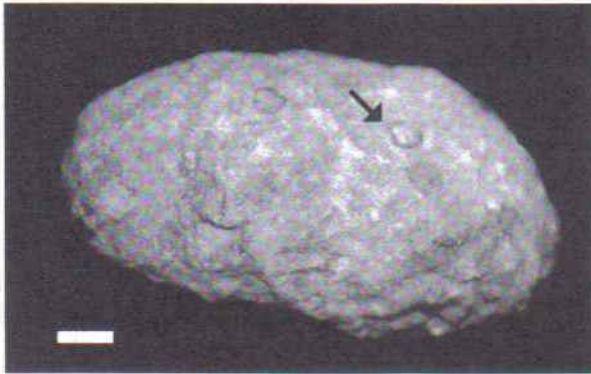


Figura 12 - Coprólito MCT 1526-R, com marcas de perfurações (seta) ocasionadas por atividade coprófaga.

Outros aspectos inusitados foram encontrados associados a esses coprólitos: um trata-se de uma deformação produzida pelo esmagamento plantar sobre uma das unidades de um grande aglomerado (Fig. 5); esta impressão se caracteriza por um *cluster* de depressões que provavelmente está associada aos membros dianteiros de uma forma jovem de dicinodonte (Giuseppe Leonardi, comunicação pessoal). O outro tem uma forma rolada unida a um longo tubo, muito parecido aos realizados por coleópteros (Scarabeidae) coprófagos (Fig. 14).

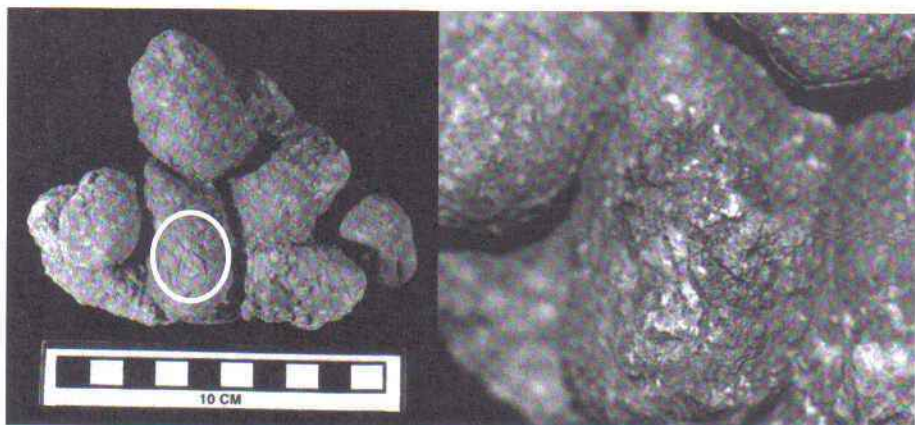


Figura 13 - (a) Coprólito MCT 1515-R, com indicação da região com marcas de extrusão; (b) detalhe da área assinalada do coprólito MCT 1515-R com as ranhuras longitudinais, produzidas pela contração da musculatura do esfíncter anal.

Os resultados das análises por difratometria revelaram que a estrutura interna dos coprólitos foi substituída por calcita, com presença de pequenos cristais de feldspato. As análises quantitativas da composição química, resultante da espectrometria de fluorescência, indicaram dominância de cálcio (45%), secundária de silício (10%), e ínfimas quantidades (menos de 1%) de fósforo, enxofre, ferro e zinco.

Os cortes longitudinais para preparação de lâmina delgada revelaram cavidades gasosas, restos de tecido vegetal (lenho) e estruturas germinativas (estróbilo e esporângio), além de palinomorfos *incertae sedis* ou "fantasmas", resultante do alto grau de dissolução ocasionado pela diagênese (Figura 15).

Quanto ao tipo de ocorrência, os coprólitos da Formação Santa Maria apresentam aspectos muito similares com os materiais coprolíticos de vertebrados em afloramentos do mesmo período existentes na Índia, África e Estados Unidos, onde são registradas ocorrências de coprofácies e circunstancialmente associadas a fósseis de vertebrados em condições de ambientes fluviais e de clima semi-árido (Smith, 1996; Chatterjee, 1978; Hunt, 1992).

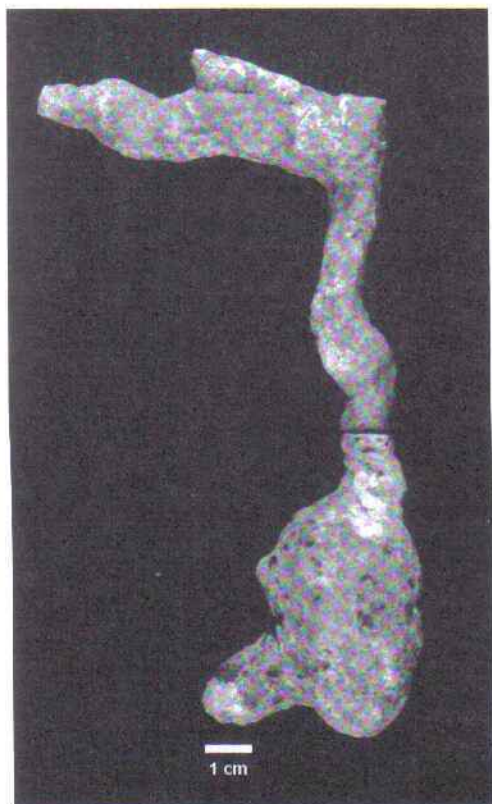


Figura 14 - Tubo de escavação, contendo o coprólito rolado na porção terminal.

A inusitada preservação das pegadas impressas na superfície de um dos exemplares (Souto, 2005) e os diferentes tamanhos de massas aglomeradas são indicadores que estes animais se alimentavam em grupo, caracterizando uma atividade populacional gregária similar à observada em mamíferos modernos. Esse comportamento também pode estar relacionado a uma estratégia defensiva, devido à convivência amistosa dos dicinodontes com predadores como cinodontes e tecodontes, visto que coprólitos e ossos fossilizados desses animais ocorrem associados nos mesmos níveis de sedimento.

Futuro das Pesquisas no Rio Grande do Sul

A Paleoicnologia de Vertebrados é uma área do conhecimento que tem progredido muito nas últimas décadas, e as descobertas de

icnofósseis cada vez mais trazem informações sobre o comportamento, biomecânica e hábitos de vida dos animais que os produziram. O número de pesquisadores que se dedicam ao estudo dos vestígios fósseis também tem crescido rapidamente, assim como o número de localidades com ocorrências de icnofósseis. Pelo ritmo em que as descobertas de pegadas fósseis, coprólitos e mesmo os icnofósseis de invertebrados vêm sendo feitas no Rio Grande do Sul, podemos esperar ainda mais novidades no futuro. Estudando mais sobre a origem desses icnofósseis poderemos conhecer melhor todos esses antigos animais que tanto nos fascinam.



Figura 15 - Corte longitudinal do coprólito MCT 1523R com inclusão de um estróbilo (esquerda) e imagem por microscopia da lâmina delgada (direita) escala de 0,08 mm.

AGRADECIMENTOS

A Átila da Rosa e Antonio Carlos Sequeira Fernandes pela leitura crítica do texto. A Jorge Ferigolo e Ana Maria Ribeiro pelo acesso à coleção do Museu de Ciências Naturais, à Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul e ao Museu de Ciências da Terra no Rio de Janeiro, onde os materiais encontram-se depositados. Este estudo contou com o apoio do CNPq (Proc. N^o 305780/2006-9), FAPERJ-IVP (E26-/102.692/2008) e Fundação Universitária José Bonifácio. Sua publicação foi autorizada pelo Departamento de Geologia - DEGEO - da CPRM - Serviço Geológico do Brasil.